植 物 分 类 与 资 源 学 报　2011，33（2）：183～190
Plant Diversity and Resources　DOI：10.3724/SP.J.1143.2011.10182

滇牡丹花色类群性状变异分析*

张艳丽[1]，李正红[1**]，马　宏[1]，王　雁[2**]，
李文娟[1]，刘秀贤[1]，万友名[1]
（1 中国林业科学研究院资源昆虫研究所，云南 昆明　650224；2 中国林业科学研究院林业研究所，北京　100091）

摘要：对滇牡丹（*Paeonia delavayi*）10 个花色类群的 13 个数量性状和 5 个质量性状进行了调查及统计分析，结果表明：（1）未发现所有花部性状均为同色的花色类群；（2）从花色与其它质量性状的连锁看，绿色类群均具绿色柱头，且是唯一存在直立花朵、绿色花丝、绿色花药的类群；（3）10 个花色类群 13 个数量性状的平均变异系数范围为 32.80%～50.56%，说明不同类群内个体间的性状稳定性差异较大；（4）10 个花色类群平均表型分化系数为 42.25%，表明滇牡丹 10 个花色类群表型变异主要来源于类群内，类群间的表型变异也很突出；（5）据花色演化趋势，初步推断云南省迪庆州中甸、德钦一带可能为滇牡丹的起源中心。

关键词：滇牡丹；花色；性状变异；育种
中图分类号：Q 944　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2095-0845(2011)02-183-08

A Study on Characters Variation of Different Flower Color Groups of *Paeonia delavayi*（Paeoniaceae）

ZHANG Yan-Li[1]，LI Zheng-Hong[1**]，MA Hong[1]，WANG Yan[2**]，
LI Wen-Juan[1]，LIU Xiu-Xian[1]，WAN You-Ming[1]
（1 *Research Institute of Resource Insects*，*Chinese Academy of Forestry*，Kunming 650224，China；
2 *Research Institute of Forestry*，*Chinese Academy of Forestry*，Beijing 100091，China）

Abstract：*Paeonia delavayi* has great value in *P. suffruticosa* new variety breeding because of its profuse flower color. Ten different flower color groups of *P. delavayi* were investigated and studied，based on 13 quantitative characters and 5 qualitative characters. Morphological variation patterns and differentiation levels among different groups were revealed，providing data and evidence for cross breeding and systematics study. The results showed that：（1）there was no flower color group which all its flower components was in the same color；（2）Flowers of green color group had green stigma exclusively which might imply the linkage relationship between them. Furthermore，green color group was unique by its erect flowers，green filaments，and green anthers；（3）the average variation coefficient of 13 quantitative characters of 10 groups ranged from 32.80% to 50.56%，which indicated that the character stability of individual plants within group were quite different from each other；（4）the mean phenotypic differentiation coefficient of 10 groups was 42.25%，which indicated that the phenotypic differentiation was distinguished among different color groups；（5）it was suggested that *P. delavayi* should have been originated from the areas of Shangri-la and Deqin of Yunnan Province according to its evolutionary trend of flower color.

Key words：*Paeonia delavayi*；Flower color；Character variation；Breeding

---

* 基金项目：国家林业局 948 项目（2006-4-C07），国家 863 计划（2006AA100109）
** 通讯作者：Author for correspondence；E-mail：lzh4949@163.com；wangyan@forestry.ac.cn
收稿日期：2010-10-24，2010-12-30 接受发表
作者简介：张艳丽（1984-）女，在读研究生，主要从事花卉种质改良方向研究。E-mail：hbtszhangx@163.com

生长于云南、四川、西藏的滇牡丹（*Paeonia delavayi* Franch）（中国科学院昆明植物研究所，2000）为西南地区特有种，花色丰富，呈白色至暗红色的连续变异，从而成为珍贵的牡丹育种材料。国外利用其中的黄色及紫色类型作为杂交亲本培育出‘L′Esperance’（‘金帝’）、‘Lao Lorraine’（‘金阳’）等黄色品种及‘中国龙’、‘黑海盗’等紫色品种，尤其是当今世界上所有育成黄色牡丹品种的黄色种质均来源于滇牡丹（王志芳等，2007；成仿云等，1998）。遗憾的是，至今未见中国利用滇牡丹进行新品种培育的报道，使得创育具自主知识产权的黄色牡丹新品种成为中国园艺界的一个梦想。滇牡丹花色组成复杂，国内外诸多学者曾据花色将滇牡丹分为几个种及变种（潘开玉，1979；方文培，1958；龚洵等，2003），1998 年 Hong 等（1998）又将该复合群处理为一个种，即滇牡丹。这一处理逐渐得到认可（Stephen，2001；赵敏桂和廉永善，2002；龚洵等，2003；杨淑达等，2005），本文采用该分类观点。

要以滇牡丹为亲本培育新品种，必须充分掌握其种质特性，表型性状研究则是一种重要的研究手法。Hong 等（1998）以居群为单位进行的调查认为花色仅与分布区域有弱相关，与其它性状无相关性，但该研究并未按花色类群进行统计学上的分析。本文在对滇牡丹居群广泛调查基础上，按可识别的花色特征分为 10 个花色类群，对各类群 18 个表型性状进行调查及统计分析，旨在揭示不同类群形态变异式样及类群间分化水平，为滇牡丹杂交育种及系统学研究提供更多科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

前期调查发现，滇牡丹在其自然分布区存在多种花色，虽然有的花色呈连续变异，但据主色及斑点色仍能分为可明显识别的类群。调查还发现了前人未报道过的绿色类群，且于绿色类群中发现数量较多的变态株，如雌蕊或雄蕊或雌、雄蕊均瓣化甚至变型为细叶状，更有少量植株的花呈重阁状，故将此特殊变异另归一类，即绿色变态类群。

本研究主要考虑花色类群间及类群内个体间的变异，为了减少环境因素影响，尽可能选择地理距离最近的居群进行采样调查，且在同一居群中尽可能选择数量足够统计分析的多种花色类群植株。据此原则，在滇牡丹的自然分布区选取 10 个不同花色类群进行研究（表 1）。

1.2 方法

每类群随机选择 30 株盛花期个体进行调查，相同花色类群样株间距 5 m 以上。调查株高、地径、分枝数、单株花枝数、单株花朵数、萼片数（由于苞片和萼片很难区分则统记为萼片数）、花瓣数、花冠直径、心皮数、萼片长、萼片宽、花瓣长、花瓣宽等 13 个数量性状和花丝色、花药色、子房色、柱头色、花着生方式等 5 个质量性状。萼片数、花瓣数、心皮数、花冠直径每株随机选 3 朵花进行测量，花瓣及花萼的长、宽则每株随机选取 5 片测量。花部颜色用 RHS 比色卡（Voss，1992；Wang 等，2004）确定。测量植株高精确到 1 cm，其它性状精确到 0.01 cm。

1.3 数据统计分析

（1）表型性状变异系数（CV）：表示表型性状离散程度，$CV=S/\bar{x}$，式中 S 为标准差，x 为平均值（明军和顾万春，2006）。

（2）对各性状采用巢式方差分析，线性模型为：$Y_{ijk}=\mu+\tau_i+\delta_{(i)j}+\varepsilon_{(ij)k}$，式中：$Y_{ijk}$为第 i 个类群第 j 个植株第 k 个观测值，μ 为总平均值，τ_i 为类群间效应值，$\delta_{(i)j}$ 为类群内效应值，$\varepsilon_{(ij)k}$ 为随机误差（王娅丽等，2008）。

（3）表型分化系数（V_{st}）：表示类群间变异占遗传总变异的百分比，$V_{st}=[(\sigma_{t/s}^2)/(\sigma_{t/s}^2+\sigma_s^2)]\times 100$，式中：$\sigma_{t/s}^2$ 为类群间方差分量，σ_s^2 为类群内方差分量（葛颂等，1988）。

（4）其它统计运算按照常规方法进行，并运用 SPSS15.0，SAS8.0 软件进行相关程序运行。

2 结果与分析

2.1 滇牡丹花色类群花部质量性状及其频率

因绿色变态类群植株的花各部常变态呈瓣状或细叶状，故未作质量性状的进一步调查。其余 9 个花色类群花部质量性状及其出现频率见表 2。

花丝、花药、子房、柱头四个器官中，子房颜色变异最小。在此次调查中所有花朵子房均为绿色，但在前期调查中发现德钦县奔子栏居群的橙黄色花类群中存在少量红色子房个体，说明子房颜色并非绝对一致。

花丝颜色变异较为丰富，共出现 5 种可明显识别的颜色，其中紫红及暗红花类群的花丝色最为稳定，均只有紫红色花丝；绿色花类群花丝色最丰富，绿、黄绿、紫红色花丝出现频率分别为

表 1　滇牡丹 10 个花色类群及来源

Table 1　10 Flower color groups of *P. delavayi* and its origin

类群编号 Population No.	花色类群 Flower color groups (RHS coding)	采集地名 Origin	海拔 Altitude (m)	经纬度 Longitude and latitude	
DM1	绿色变态（RHS130A, 134B） Green with Metamorphosis	德钦明永冰川 Mingyongbingchuan, Deqin	2 520 ~ 2 691	98°46′ ~ 98°47′	28°27′ ~ 28°32′
DM2	绿色（RHS130A, 134B） Green	德钦明永冰川 Mingyongbingchuan, Deqin	2 520 ~ 2 691	98°46′ ~ 98°47′	28°27′ ~ 28°32′
DS1	纯黄色（RHS2A） Pure yellow	德钦升平一中后山 The hill behind the first middle school, Deqin	3 175 ~ 3 190	98°55′ ~ 98°48′	28°28′ ~ 28°51′
DS2	黄色基部红斑（RHS2A, 45A） Yellow with red spot in base	德钦升平一中后山 The hill behind the first middle school, Deqin	3 175 ~ 3 190	98°55′ ~ 98°48′	28°28′ ~ 28°51′
DY	淡黄色基部红斑（RHS4D, 45A） Yellowish with red spot in base	德钦云岭红坡 Yunlinghongpo, Deqin	2 681 ~ 2 691	98°54′	28°19′
ZH1	紫红色中部黄斑（RHS59B, 2B） Purple red with yellow spot in middle	中甸滑雪场 Skiing park, Zhongdian	3 318 ~ 3 333	99°30′ ~ 99°45′	27°42′ ~ 27°57′
ZH2	橙黄色（RHS22C） Orange yellow	中甸滑雪场 Skiing park, Zhongdian	3 318 ~ 3 333	99°30′ ~ 99°45′	27°42′ ~ 27°57′
ZH3	紫红色（RHS59B） Purple red	中甸滑雪场 Skiing park, Zhongdian	3 318 ~ 3 333	99°30′ ~ 99°45′	27°42′ ~ 27°57′
LT	黄绿色基部紫红斑（RHS154A, 64A） Yellowish green with purple red spot in base	丽江太安乡 Taian, Lijiang	3 138 ~ 3 144	100°02′	26°43′
LY	暗红色（RHS187C） Dark red	丽江玉龙牦牛坪 Yak meadow, Yulonglijiang	3 202 ~ 3 523	100°14′ ~ 100°16′	27°04′ ~ 27°10′

表 2　滇牡丹 9 个花色类群花部质量性状及其出现频率

Table 2　Qualitative characters of flower elements and their appearing frequency of 9 flower color groups of *P. delavayi*

花部 Flower elements	颜色 Color (RHS coding)	出现频率 Appearing frequency (%)								
		DM2	DS1	DS2	DY	ZH1	ZH2	ZH3	LT	LY
花丝 Filament	绿黄色 Greenish yellow (RHS2B)		90.00	26.67					86.67	
	绿色 Green (RHS134B)	40.00								
	黄绿色 Yellowish green (RHS154A)	13.33								
	亮红色 Vivid red (RHS45A)				6.67	80.00	13.33		13.33	
	紫红色 Purple red (RHS64A)	46.67	10.00	73.33	93.33	20.00	86.67	100.00		100.00
花药 Anther	绿黄色 Greenish yellow (RHS2B)		100.00	96.67	53.33	10.00	53.34	60.00	100.00	63.64
	绿色 Green (RHS134B)	80.00								
	黄绿色 Yellowish green (RHS154A)	20.00			36.67	13.33	33.33	3.33		
	淡橙色 Moderate orange (RHS168C)			3.33		76.67	13.33			
	紫红色 Purple red (RHS64A)							36.67		36.36
子房 Ovary	绿色 Green (RHS134B)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
柱头 Stigma	绿色 Green (RHS134B)	100.00	30.00	36.67	70.00		50.00			18.19
	黄绿色 Yellowish green (RHS154A)		43.33	63.33	10.00	13.33	13.33	20.00	62.50	10.00
	亮红色 Vivid red (RHS45A)					13.33				
	浅紫红色 Moderate purplish red (RHS64A)		16.67		20.00	73.34	36.67	80.00	37.50	71.81
花朵着生方式 Flowers in a way	直立 Erect	60.00								
	平伸 Horizontal	40.00	100.00	100.00		10.00		56.67	12.50	90.00
	下垂 Pendulous				100.00	90.00	100.00	43.33	87.50	10.00

40.00%、13.33%和46.67%，且是唯一出现绿色花丝的类群；其余类群花丝均出现两种颜色，但均有一种颜色占绝对优势，出现频率在70.00%以上，纯黄色及黄绿色基部紫红斑类群以绿黄色花丝为主，紫红色中部黄斑类群以亮红色花丝为主，黄色基部红斑、淡黄色基部红斑及橙黄色类群均以紫红色花丝为主。

花药也出现5种颜色，其中纯黄色及黄绿色基部紫红斑类群花药均为浅黄绿色，其余类群花药均存在2～3种颜色。绿色花类群以绿色花药为主（80.00%），且是唯一存在绿色花药的类群。黄色基部红斑类群以绿黄色花药为主（96.67%），紫红色中部黄斑类群以淡橙色花药为主（76.67%），紫红色及暗红色类群花药以淡绿、黄色为主（60.00%、63.64%），淡黄色基部红斑及橙黄色两个类群花药均存在绿黄色、黄绿色、淡橙色3种花药色，频率约为5∶4∶1。

柱头共出现4种颜色，绿色花类群仅有绿色柱头，黄色基部红斑及黄绿色基部红斑类群均以黄绿色柱头为主（63.33%、62.50%），淡黄色基部红斑类群以绿色柱头为主（70.00%），紫红色中部黄斑、紫红色、暗红色3种类群以淡紫红色柱头为主（均>70.00%），纯黄色和橙黄色类群柱头均有3种以上颜色，每种比例均不超过50.00%。

花朵着生方式共有直立、平伸和下垂3种。仅绿色类群存在直立着生方式，频率达60.00%，纯黄色和黄色基部红斑类群花朵均为平伸，淡黄色基部红斑及橙黄色类群均为下垂，紫红色中部黄斑及黄绿色基部红斑类群均有平伸及下垂两种着生方式，且以下垂为主（90.00%、87.50%），暗红色类群也有该两种着生方式，但以平伸为主（90.00%）。紫红色类群平伸及下垂着生方式频率相当，分别为56.67%和43.33%。

从花色与其它质量性状的连锁看，绿色类群均具绿色柱头，而且是唯一存在直立花朵、绿色花丝、绿色花药的类群，因此该类群可作为培育花朵直立且所有花部器官均为绿色的品种的亲本。

2.2 滇牡丹花色类群数量性状变异特征

对滇牡丹不同花色类群13个数量性状的统计值及多重比较结果见表3。

结果表明，所有性状在整体类群内均存在显著差异，但具体到某些类群间，性状差异则不显著。综合所有性状看，暗红色类群最为独特，其株高、地径、分枝数、花瓣数、花冠直径、心皮数、萼片长和宽、花瓣长等性状平均值均显著高于其它类群，充分显示出其巨大性。

所有类群平均株高（72.95±28.94）cm，暗红色类群平均株高（151.05±48.73）cm，显著高于其它类群，紫红色类群次之，平均株高（96.47±24.17）cm；最矮的为橙黄色类群，平均株高（52.7±19.94）cm，与黄绿色基部红斑类群无显著差异，但显著矮于其它类群。考虑到类群内单株间变幅，株高呈连续性分布（图1）。

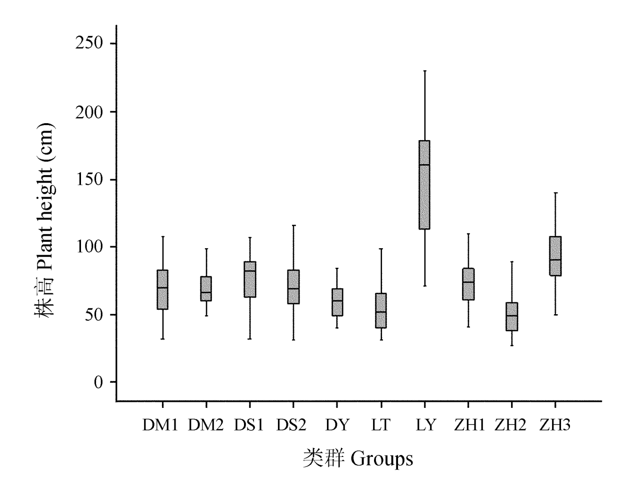


图1 滇牡丹10个花色类群株高分布

Fig. 1 Plant height distribution of 10 color groups of *P. delavayi*

其余性状与株高类似，均为某一类群与部分其它类群无显著差异，而与部分其它类群差异显著。从与观赏价值密切相关的单株花朵数、花瓣数、花冠直径看，单株花朵数以紫红色中部黄斑、纯黄色及紫红色类群最多，三者间无显著差异；花瓣数以暗红色类群最多，调查时发现最多的一朵花瓣数达24瓣，平均11.45瓣/朵，显著多于其它类群；花冠直径也以暗红色类群最大，平均7.99 cm，显著大于其它类群。

对同一居群中不同花色类群间的性状进行比较，纯黄色、黄色基部红斑类群均为德钦升平一中后山居群，两类群的株高、地径、萼片数、花冠直径、心皮数、萼片长、花瓣长等7个性状无显著差异，纯黄色类群的分枝数、开花枝数、单株花朵数、花瓣数、萼片宽、花瓣宽等6个性状

表 3　滇牡丹 10 个花色类群数量性状的平均值、标准差以及多重比较

Table 3　The mean value and standard deviation of quantitative characters of 10 flower color groups of *P. delavayi*

性状 Characters	DM1	DM2	DS1	DS2	DY	ZH1
Hp (cm)	68.13±19.80^{ef}	70.50±14.54^{efg}	77.37±22.4^{g}	71.83±22.23^{fg}	60.4±14.56^{cd}	74.10±17.70^{fg}
D (cm)	1.09±0.30^{cd}	0.96±0.36^{b}	1.12±0.41^{cd}	1.02±0.29^{bc}	1.05±0.28^{bc}	1.20±0.27^{d}
Nb/Branch	2.53±1.57^{cd}	1.71±0.89^{b}	6.03±4.90^{f}	2.37±1.79^{c}	2.00±1.28^{c}	4.17±2.46^{e}
Ff/Branch/Strain	1.80±1.08^{b}	1.86±1.14^{b}	5.17±3.07^{a}	2.93±1.89^{cd}	2.67±1.24^{c}	4.90±2.90^{a}
Nf/Flower/Strain	5.33±3.83^{cd}	4.50±2.08^{bc}	10.07±8.09^{a}	5.83±3.48^{cd}	6.87±4.61^{d}	10.7±4.67^{a}
Ns		18.79±9.25^{a}	7.77±1.53^{bc}	8.17±1.25b^{cd}	8.23±1.68^{bcd}	9.50±1.85^{d}
Np		10.29±1.29^{fg}	8.77±1.59^{c}	8.23±1.48^{b}	10.33±1.08^{fg}	10.80±2.27^{g}
Dc (cm)	3.06±0.74^{b}	3.99±1.33^{c}	5.57±2.48^{e}	5.70±1.10^{ef}	6.78±1.71^{g}	4.88±0.92^{d}
Nc		2.02±0.41^{b}	2.26±0.44^{bc}	2.43±0.62^{cd}	2.29±0.48^{c}	3.81±0.96^{g}
Ls (cm)		1.69±0.96^{b}	1.98±1.03^{bc}	1.93±0.91^{bc}	1.88±1.23^{b}	1.95±0.86^{bc}
Ws (cm)		0.56±0.21^{b}	1.39±0.70^{e}	0.88±0.42^{bcd}	0.78±0.32^{bc}	1.27±0.45^{de}
Lp (cm)		2.10±0.39^{b}	3.07±0.65^{e}	3.00±0.58^{e}	3.40±0.59^{f}	2.46±0.38^{c}
Wp (cm)		1.29±0.34^{b}	2.57±0.58^{a}	2.39±0.55^{f}	2.19±0.40^{e}	1.82±0.38^{d}

性状 Characters	ZH2	ZH3	LT	LY	平均值 means
Hp (cm)	52.7±19.94^{b}	96.47±24.17^{h}	55.67±19.82^{bc}	151.05±48.73^{a}	72.95±28.94
D (cm)	1.07±0.31^{bc}	1.37±0.30^{e}	1.09±0.42^{cd}	1.76±0.44^{a}	1.13±0.35
Nb/Branch	3.50±2.23^{de}	5.50±3.90^{f}	0.53±0.23^{b}	8.27±4.42^{a}	3.38±2.06
Ff/Branch/Strain	3.73±2.01^{d}	5.23±3.10^{a}	1.73±0.84^{b}	3.09±1.25^{cd}	3.29±1.76
Nf/Flower/Strain	3.87±3.93^{d}	9.37±4.30^{a}	5.13±3.46^{cd}	4.36±1.33^{bc}	6.9±3.54
Ns	7.23±0.99^{b}	8.13±1.74b^{cd}	9.13±1.60^{cd}	8.82±1.49^{cd}	9.38±4.31
Np	9.47±1.53^{d}	10.23±1.55^{e}	8.80±1.06^{c}	11.45±1.70^{a}	9.52±1.83
Dc (cm)	4.70±1.36^{d}	6.14±0.99^{f}	4.08±1.19^{c}	7.99±1.80^{a}	5.27±1.83
Nc	2.63±0.99^{de}	3.47±0.89^{f}	2.80±0.55^{e}	4.64±0.49^{a}	2.84±0.97
Ls (cm)	2.19±1.07^{cd}	2.30±0.99d^{e}	1.79±0.72^{b}	3.77±1.66^{a}	2.09±1.02
Ws (cm)	1.09±0.39^{cde}	1.30±0.40^{de}	1.14±0.54^{cde}	2.04±0.69^{a}	1.06±0.50
Lp (cm)	2.36±0.62^{c}	2.31±0.46^{d}	2.41±0.60^{c}	3.62±0.78^{a}	2.8±0.67
Wp (cm)	1.63±0.42^{c}	2.14±0.49^{e}	1.81±0.64^{d}	2.58±0.44^{a}	209±0.59

Hp：株高；D：地径；Nb：分枝数；Ff：开花枝数；Nf：花朵数；Ns：萼片数；Np：花瓣数；Dc：花冠直径；Nc：心皮数；Ls：萼片长；Ws：萼片宽；Lp：花瓣长；Wp：花瓣宽。字母相同表示不存在显著差异（$P>0.05$）；字母不同表示存在显著差异（$P<0.01$）。

Hp：Plant hight. D：Diameter. Nb：Branch number. Ff：Flowering branch number. Nf：Flower number. Ns：sepal number. Np：Petal number. Dc：Corolla diameter. Nc：carpel number. Ls：sepal length. Ws：sepal width. Lp：petal length. Wp：petal width.

The same letter means no notable difference ($P>0.05$)；and the different letters mean significant difference ($P<0.01$).

均显著高于黄色基部红斑类群。紫红色中部黄斑类群、橙黄色类群、紫红色类群均位于中甸滑雪场居群内，三种花色类群间仅萼片宽无显著差异，株高、地径、花瓣数、心皮数、花瓣宽等 5 个性状均存在显著差异，其中株高、地径、花瓣宽均为紫红色类群>紫红色中部黄斑类群>橙黄色类群，而花瓣数和心皮数则为紫红色中部黄斑类群>紫红色类群>橙黄色类群，其余性状均只在两个类群间差异显著。以上分析说明，同一居群中不同植株不仅发生花色上的变异，而且花色类群间的部分性状也发生了相应的变异，因处于同一居群中，基本可排除环境饰变作用，从而可推测这些变异应具有相应的遗传基础。

变异系数表示性状值离散性特征，变异系数越大，性状值离散程度越大。滇牡丹花色类群性状变异系数分析揭示（表 4），类群间所有性状的平均变异系数范围为 32.80% ~50.56%，变异系数最大的类群较最小的类群高 50.00% 以上，说明不同类群中个体间的性状稳定性差异较大。所有花色类群性状整体平均变异系数范围为 19.22% ~83.69%，其中与植株年龄相关的性状如单株开花枝数、单株花朵数及单株分枝数变异系数最高，均达 75.00% 以上，说明各类群个体间的差异除受环境、遗传因素影响外，个体的年龄组成也可能

是造成这些性状差异的主要原因之一。三个花萼相关性状的变异系数也高达46.00%～54.00%，且调查中发现萼片形态变异较大，部分呈细长叶片状，是性状最不稳定的花部器官。花瓣相关性状则相对稳定，变异系数均在29.00%以下。

2.3 滇牡丹花色类群分化程度

巢式方差分析结果（表5）表明，13个数量性状中除开花枝数、每株花朵数、萼片数及萼片宽外，其余性状在类群间均存在极显著差异；除萼片长、宽外其余性状在类群内均存在极显著差异。这说明滇牡丹各数量性状在类群间和类群内都存在着广泛的变异。

各方差分量占总变异的比例计算结果（表6）表明，类群间的方差分量占总变异的30.22%，类群内的方差分量占54.21%，机误占15.57%。13个数量性状的表型分化系数范围为13.45%～91.48%，平均为42.25%，说明花色类群的表型变异主要来源于类群内，类群间的表型变异也很突出。

表4 滇牡丹10个花色类群数量性状的变异系数

Table 4 Variation coefficients of quantitative characters of 10 flower color groups of *P. delavayi*

性状 Characters	DM1	DM2	DS1	DS2	DY	ZH1	ZH2	ZH3	LT	LY	总计 Total
Hp	29.06	20.62	29.00	30.95	24.11	23.88	37.83	25.67	35.61	32.26	39.67
D	27.76	37.30	36.32	28.56	26.80	22.89	29.10	21.87	38.96	25.02	31.76
Nb	61.85	51.99	97.80	75.63	78.97	59.17	63.71	70.93	60.98	77.65	75.49
Ff	60.17	61.30	78.83	94.40	83.95	59.09	55.61	59.26	54.18	72.94	83.69
Nf	90.58	64.04	80.41	85.40	81.69	60.43	57.19	67.30	77.10	76.22	80.28
Ns	60.39	49.30	19.69	15.28	20.36	19.47	13.75	21.35	17.56	16.88	45.91
Np		12.57	18.18	18.03	10.46	21.01	16.16	15.16	12.02	14.82	19.22
Dc	24.13	33.43	44.55	19.23	25.25	18.90	28.98	16.19	29.19	22.53	34.56
Nc		20.38	19.45	25.44	20.96	25.15	37.52	25.66	19.56	10.54	34.11
Ls	39.39	57.00	52.19	47.12	65.38	44.34	49.10	43.06	39.87	44.10	53.78
Ws	50.39	37.15	50.25	47.88	40.72	35.79	35.30	30.95	47.77	39.50	49.09
Lp		18.43	21.13	19.17	17.23	15.52	26.43	16.29	24.98	21.67	24.03
Wp		26.00	22.63	22.85	18.46	20.77	25.86	22.68	35.46	14.02	28.22
平均值 Means	50.56	37.65	43.88	38.46	39.56	32.80	36.67	33.57	37.94	36.01	46.14

Hp, D, Nb, Ff, Nf, Ns, Np, Dc, Nc, Ls, Ws, Lp, Wp 见表3。Hp, D, Nb, Ff, Nf, Ns, Np, Dc, Nc, Ls, Ws, Lp, Wp see Table 3.

表5 滇牡丹10个花色类群数量性状的方差分析

Table 5 Variance analysis of quantitative characters of 10 flower color groups of *P. delavayi*

性状 Characters	均方值 Mean square value			F值 F value	
	类群间 Among group	类群内 Within group	机误 Random errors	类群间 Among group	类群内 Within group
Hp	36153.000	1417.456	0.279	25.506**	5086.504**
D	2.751	0.309	0.002	8.914**	205.733**
Nb	317.864	30.789	0.095	10.324**	325.120**
Ff	156.117	18.744	0.055	1.215	342.669**
Nf	524.005	89.580	0.073	1.353	1222.090**
Ns	34.832	7.268	0.096	4.792*	75.710**
Np	88.624	7.134	0.003	12.423**	264.215**
Dc	74.757	6.588	0.012	11.348**	544.455**
Nc	34.179	1.252	0.141	27.297**	8.861**
Ls	24.743	0.334	1.126	74.014**	0.297
Ws	12.702	2.217	2.272	5.729*	0.976
Lp	22.228	1.130	0.095	19.671**	11.882**
Wp	17.550	0.731	0.094	24.018**	7.790**

* 表示差异显著（$P<0.05$）；** 表示差异极显著（$P<0.01$）；Hp, D, Nb, Ff, Nf, Ns, Np, Dc, Nc, Ls, Ws, Lp, Wp 见表3

* Significant difference ($P<0.05$); ** Extremely Significant difference ($P<0.01$); Hp, D, Nb, Ff, Nf, Ns, Np, Dc, Nc, Ls, Ws, Lp, Wp see Table 3.

表 6 滇牡丹 10 个花色类群数量性状方差分量及分化系数

Table 6 Variance component and differentiation coefficients of quantitative characters 10 flower color groups of *P. delavayi*

性状 Characters	方差分量百分比 Percentage of variance component (%)			表型分化系数 Differentiation coefficient of phenotypic characters
	类群间 Among groups	类群内 Within groups	机误 Random errors	
Hp	49.76	50.21	0.03	49.77
D	24.05	74.83	1.12	24.33
Nb	27.25	72.08	0.67	27.44
Ff	22.75	76.57	0.67	22.91
Nf	16.37	83.43	0.21	16.39
Ns	13.00	83.65	3.56	13.45
Np	31.57	68.35	0.08	31.59
Dc	29.42	70.19	0.39	29.53
Nc	46.44	38.76	14.79	54.51
Ls	13.96	3.07	82.96	81.97
Ws	44.14	4.11	51.75	91.48
Lp	36.09	43.80	20.11	54.17
Wp	38.09	35.68	26.23	51.63
平均值 Means	30.22	54.21	15.57	42.25

表注见表 4。Notes see Table 4

3 讨论

3.1 关于滇牡丹的起源中心

袁涛和王莲英（2003）在讨论牡丹革质花盘亚组形态演化趋势时认为，粉红色是最原始的花色，而后演化为白色和其它带粉红色成分的花色，黄色则较为进化，绿色为退化类型，基部淡紫色晕到小紫斑一直演化到大而明显的紫斑。

滇牡丹分布于横断山区的东南边缘，从东部边缘（昆明）经大理、丽江、中甸到西藏察隅，生态幅较广（龚洵等，2003），花色变异极为丰富，从白色带粉红色斑、纯白色、纯黄色、黄色基部红斑一直到纯红色、纯暗紫色均有，同时也发现绿色类型。从花色进化与起源中心的关系分析，起源中心应具有最为原始的花色。本研究在调查过程中发现，云南省德钦县红坡居群具有相对最多的原始花色类型，该居群发现 2 株纯白色花，3 株白色带粉红色斑，另有近 10% 为纯绿色，其中少量绿色花雄蕊及花瓣变态为细叶状。与此居群直线距离约 30 000 m 的明永冰川居群发现绿色及绿色变态类型，但无白色及白色具粉红斑类型。另距红坡居群直线距离不足 10 000 m 的升平居群则仅有纯黄色及黄色基部紫红色斑类型。在德钦境内未发现以红色或紫色为主的花色类群。

Hong 等（1998）于迪庆州中甸汶水居群也发现白色花类型，本文作者所在研究小组则在中甸滑雪场居群 100 m×100 m 范围内发现至少 7 种花色类型，表明这一地区具有极为丰富的遗传多样性。表型是遗传与环境互作的结果，但在相似的环境条件下产生的表型差异更多由遗传因素决定。滇牡丹在同一个居群内有多个花色类型存在，说明花色主要由遗传决定，这就为花色新品种的培育奠定了物质基础。

除云南省迪庆州外，尚未发现粉红色或白色花滇牡丹。因此，结合本研究结果，初步推测迪庆州中甸、德钦一带可能为滇牡丹的起源中心，并由此向外辐射，花色由粉红色、白色逐渐演化为黄色乃至紫红色，而不适应现今环境的类型退化为绿色及绿色变态类型，并因部分不能正常结实而易被淘汰。

3.2 关于滇牡丹花色类群在新品种培育中的应用

在本研究调查过程中未发现花色类型单一的居群，个别居群存在 7 种花色类型，这些居群及其中的花色类群可能均具较高杂合度，虽不适宜作为单一目标的育种亲本，却是极好的多目标育种亲本。

本研究仅以花瓣主色及色斑划分花色类群，而花丝、花药等其它花部颜色也是牡丹品种的重

要观赏性状，因此培育新品种必须注意亲本各花部的颜色。本研究中，每一个花色类群的其它花部性状均存在多种颜色，没有发现所有性状均只有一个颜色的类群。因此，在进行杂交亲本选择时，须在各类群中进一步选择所需目标性状的个体，且还须考虑这些个体的纯合性。

花色的遗传背景较为复杂，除正常的孟德尔式重组分离外，有的明显偏母性遗传，有的则不表现偏母性遗传特征，有的为不完全显性，有的则具镶嵌现象或独立遗传（栗茂腾等，2005；曹建军和梁宗锁，2008）。因此，正确选配杂交组合是滇牡丹杂交育种成功的关键之一。

上述研究结果可为今后牡丹育种工作中以滇牡丹为亲本的杂交组配的选择提供借鉴，对滇牡丹更多花色类群色素组成则有待进一步深入研究。

〔参 考 文 献〕

王志芳，王雁，岳桦，2007. 珍稀资源—黄牡丹［J］. 中国城市林业，**5**（2）：59—60

中国科学院昆明植物研究所，2000. 云南植物志（第 11 卷）［M］. 北京：科学出版社，291—294

潘开玉，1979. 芍药属. 中国植物志（第 27 卷）［M］. 北京：科学出版社，37—48

Cao JJ（曹建军），Liang ZS（梁宗锁），2008. Preliminary analysis on flower color inheritance and relations between flower color and pigments in *Primula vulgaris*［J］. *Bulletin of Botanical Research*（植物研究），**28**（4）：426—432

Cheng FY（成仿云），Li JJ（李嘉珏），Yu L（于玲），1998. Exportation of Chinese Tree Peonies（Mudan）and their developments in other countries II：wild specie［J］. *Journal of Northwest Normal University*（Natural Science）（西北师范大学学报（自然科学版）），**4**（3）：103—108

Fang WP（方文培），1958. Notes on Chinese paeonies in China［J］. *Acta Phytotaxonomica Sinica*（植物分类学报），**7**（4）：294—323

Ge S（葛颂），Wang MX（王明庥），Chen YW（陈岳武），1988. An analysis of population genetic structure of Masson pine by isozyme technique［J］. *Scientia Silvae Sinice*（林业科学），**24**（4）：399—409

Gong X（龚洵），Pan YZ（潘跃芝），Yang ZY（杨志云），2003. The diversities and value of present situation of *Paeonia delavayi*［J］. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*（西北植物学报），**23**（2）：218—223

Hong DY，Pan KY，Yu H，1998. Taxonomy of the *Paeonia delavayi* complex（Paeoniaceae）［J］. *Annals of the Missouri Botanical Garden*，**85**：554—564

Li MT（栗茂腾），Yu LJ（余龙江），Wang LM（王丽梅）*et al.*，2005. The heredity of flower colors and the discovery of flower color chimera in chrysant hemum species［J］. *Hereditas*（遗传），**27**（6）：948—952

Ming J（明军），Gu WC（顾万春），2006. Phenotypic variation of *Syringa oblate* Lindl［J］. *Forest Research*（林业科学研究），**19**（2）：199—204

Stephen GH，2001. *Paeonia delevayi*，a variable species［J］. *The New Plantsman*，**8**（4）：251—253

Voss DH，1992. Relating colourimeter nleasurement of plant colour to the Royal Horticultural Society Colour Chart［J］. *Hort Science*，**27**（12）：1256—1260

Wang LS，Hashimoto F，Shiraishi A *et al.*，2004. Chemical taxonomy of the Xibei tree peony from China by flower pigmentation［J］. *Journal of Plant Research*，**117**（1）：47—55

Wang YL（王娅丽），Li Y（李毅），Chen XY（陈晓阳），2008. Phenotypic diversity of natural population in *Picea crassifolia* in Qilian Moutain［J］. *Scientia Silvae Sinicae*（林业科学），**44**（2）：70—76

Yang SD（杨淑达），Shi XH（施苏华），Gong X（龚询）*et al.*，2005. Genetic diversity of *Paeonia delavayi* as revealed by ISSRs［J］. *Biodiversity Science*（生物多样性），**13**（2）：105—111

Yuan T（袁涛），Wang LY（王莲英），2003. Morphological studies on Paeonia sect. *Mountan* subsect *Vagiataein* in China［J］. *Acta Horticulturae Sinica*（园艺学报），**30**（2）：187—191

Zhao MG（赵敏桂），Lian YS（廉永善），2002. A comparative study on carpellary morphology character and ovary anatomy structure of sect . *Moutan* in *Paeonia*［J］. *Journal of Northwest Normal University*（Natural Science）（西北师范大学学报（自然科学版）），**38**（1）：64—68